

フォノン・励起子・輻射モデルによる励起子輻射寿命の制御の提案

Control of radiative exciton lifetime proposed by phononic-excitonic-radiative models

千葉大工 ^{○(M1C)}地崎 匡哉, 大木 健輔, 石谷 善博*

Chiba Univ., ^{○(M1C)}Masaya Chizaki, Kensuke Oki, Yoshihiro Ishitani*

E-mail: *Ishitani@faculty.chiba-u.jp



励起子の発光効率は高いが、温度 T の上昇に伴う輻射再結合寿命の増加を抑制する必要がある。 k 空間での 1S 励起子のみの分布を考えた場合、1S 励起子の輻射寿命はバルク結晶で $T^{3/2}$ に比例することが報告されている[1]。しかし、励起子のポピュレーションは様々な主量子数 n の状態と連続状態（自由キャリア）に分布し、その分布は残留電子密度や非輻射再結合速度に依存する。実験的報告では、 $T^{3/2}$ やそれよりも大きな T のべき乗などの様々な輻射寿命の温度依存性が報告されている[2, 3]。これらを理論的計算によって特徴付けるためには、様々なフォノン相互作用や電子衝突によるエネルギー準位間の遷移過程を考慮する必要がある。そこで我々はフォノン・励起子・輻射(PXR)モデルに基づく計算コードを構築し、GaN の理想的な結晶では輻射寿命の温度依存性の T のべき乗は $3/2$ よりも大きいことを明らかにした[4]。このモデルの正当性は実験的にも示されている[5]。本研究では残留電子による効果を我々の PXR モデルに加え輻射寿命の制御を試みた。

残留電子は密度 N_D 、活性化エネルギー 15 meV の Si から供給し、残留電子密度はサハの式から求めた。励起密度 $N_{exc} = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ において N_D を 10^{15} から 10^{17} cm^{-3} まで増加させると、Fig. 1 のように 1S 励起子密度が増加した。すなわち、発光の主な原因となる 1S 励起子密度をドーピングによって増加できることがわかった。この結果、Fig.2 のように N_D の増加につれて 1S 励起子の減衰時間 $\tau_d(1)$ の減少が起こり、その温度依存性はアンドープで $T^{4.2}$ に比例していたが、 $N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ では $T^{1.7}$ となった。この結果は $\tau_d(1)$ および輻射速度の温度依存性に対して残留電子密度が重要な因子であることを示す。

本研究は科研費 16H06425 および 17H02772 により行われた。

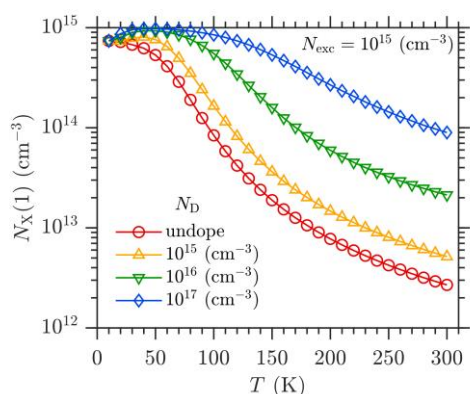


Fig. 1. Steady-state population density of 1S exciton $N_X(1)$ obtained from PXR model with and without doping.

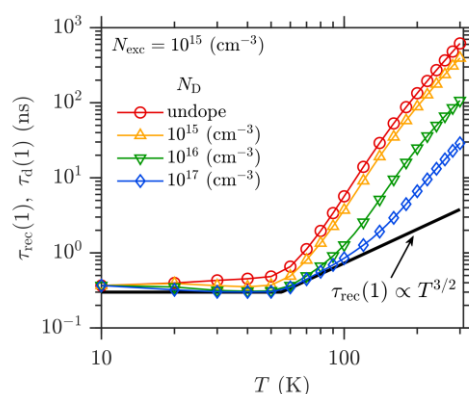


Fig. 2. Lifetime of 1S exciton. $\tau_{rec}(1)$ is inverse of the recombination probability. Symbols denote the decay time $\tau_d(1)$ obtained from PXR model with and without doping.

参考文献

- [1] A. Dmitriev and A. Oruzhenikov, J. Appl. Phys. **86**, 3241 (1999)
- [2] J. S. Im *et al.*, Appl. Phys. Lett. **70**, 631 (1997)
- [3] S. F. Chichibu *et al.*, J. Appl. Phys. **123**, 161413 (2018)
- [4] K. Oki, B. Ma and Y. Ishitani, Phys. Rev. B **96**, 205204 (2017)
- [5] Y. Ishitani, K. Oki and H. Miyake, Jpn. J. Appl. Phys. **58**, SCCB34 (2019)